

جمعية المهندسين الملكية المصرية

تأسست فى ٣ ديسمبر سنة ١٩٢٠

ومعتمدة بمرسوم ملكى بتاريخ ١١ ديسمبر سنة ١٩٢٢

الانشاءات الكبيرة

من الخرصان المسلح

للدكتور سيد عبد الواحد

ألقيت بجمعية المهندسين الملكية المصرية

فى ٢٧ ابريل سنة ١٩٣٣

مطبعة مصر ـ شركة مساهمة مصرية

١٩٣٣



جمعية المهندسين الملكية المصرية

تأسست فى ٣ ديسمبر سنة ١٩٢٠

ومعتمدة بمرسوم ملكى بتاريخ ١١ ديسمبر سنة ١٩٢٢

الانشاءآت الكبيرة

من الخرصان المسلح

للدكتور سيد عبد الواحد

ألقيت بجمعية المهندسين الملكية المصرية

فى ٢٧ ابريل سنة ١٩٣٣

مطبعة مصر - شركة مساهمة مصرية

١٩٣٣

الانشاءآت الكبيرة من الخرصان المسلح

زاد متوسط تكاليف الانشاءآت الخرصانية التى شيدت فى مصر فى السنين الأخيرة على ثلاثة ملايين جنيه سنوياً وفى هذا ما يبعث على زيادة الاهتمام فنياً بالخرصان لتحسين إنشاءآتنا والحصول على الفائدة الاقتصادية التى تنتج من استيفاء دراسة المشروعات والاسترشاد بالطرق المتبعة فى الخارج

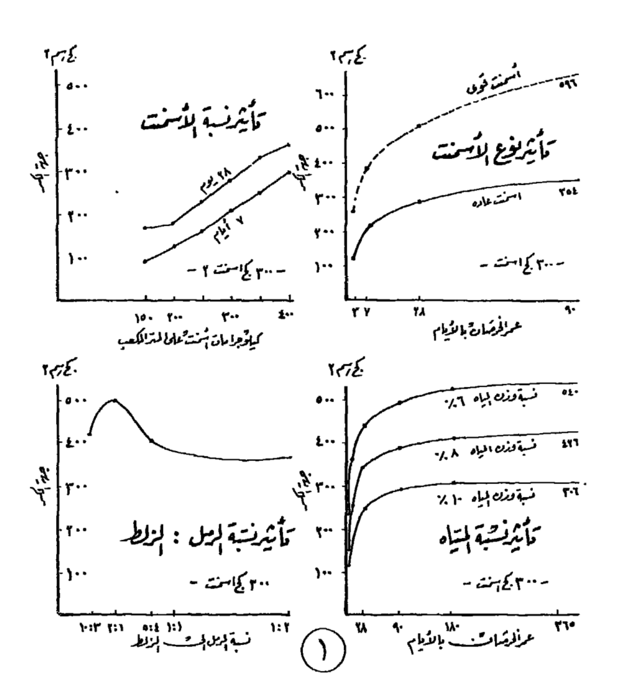
وفى موضوع الانشاءآت الخرصانية مجال متسع للتحسين والتوفير لأن الخرصان مادة تتغير خواصها بدرجة كبيرة حسب طريقة عملها فبينما يبلغ جهد الكسر فى الخرصان العادى ٢٠٠ كج / سم٢ امكن زيادة هذه القيمة إلى ٨٠٠ كج / سم٢ فى بلجيكا بدون تسليح وإلى ٤٠٠٠ كج / سم٢ فى السويد بالتسليح . هذا من جهة المادة أما من جهة التصميم فان اختيار الشكل المناسب وحسن توزيع القوى على أجزاء الانشاء يؤدى إلى توفير كبير فمثلا يمكن إنقاص عزم الانحناء فى وسط كمرة إلى ثلث قيمته بتثبيت الطرفين

وفى بلاطة محملة على أربعة أطراف إلى النصف بنفس الطريقة ويمكن التخلص من عزم الانحناء فى العقود بجعل محورها مطابقاً لخط الضغط الناشىء من وزنها

وقد زادت الثقة بالخرصان بظهور الأسمنت القوى وتحسن طرق التنفيذ فأدى ذلك إلى تصميم إنشاءآت أكبر وابتكار أنواع جديدة منها وهى موضوع بحثنا اليوم .

ويجدر بى قبل التكلم عن الانشاءآت أن أسرد بعض معلومات أساسية عن متانة الخرصان وتأثير العوامل المختلفة عليها ويتبين من المنحنيات (شكل ١) أن المتانة تزداد حسب تحسن نوع الأسمنت وزيادة نسبته وقلة نسبة المياه وحسن اختيار نسبة الرمل إلى الزلط هذا علاوة على ما هو معروف من ازدياد قوة الخرصان مع قدمه .

وقد وضع معمل اختبار المواد فى زيوريخ قانوناً يجمع هذه العوامل ويعطى متانة الخرصان وهو عبارة عن قانون « فيريه » معدلا حسب التجارب العديدة التى أجريت فى المعمل المذكور .



كج/سم٢
٥٠٠
٤٠٠
٣٠٠
٢٠٠
١٠٠
تأثير نسبة الأسمنت
٢٨ يوم
٧ أيام
١٥٠ ٢٠٠ ٣٠٠ ٤٠٠
كيلوجرامات الأسمنت على المتر المكعب
كج/سم٢
٦٠٠
٥٠٠
٤٠٠
٣٠٠
٢٠٠
١٠٠
أسمنت قوي
٥٩٦
تأثير نوع الأسمنت
أسمنت عادي
٣٥٤
– ٣٠٠ كج أسمنت –
٣ ٧ ٢٨ ٩٠
عمر المكعبات بالأيام
كج/سم٢
٥٠٠
٤٠٠
٣٠٠
٢٠٠
١٠٠
تأثير نسبة الرمل : الزلط
كج/سم٢
٥٠٠
٤٠٠
٣٠٠
٢٠٠
١٠٠
نسبة وزن المياه ٦٪
٥٤٠
نسبة وزن المياه ٨٪
٤٢٦
نسبة وزن المياه ١٠٪
٣٠٦
تأثير نسبة المياه
– ٣٠٠ كج أسمنت –
٢٨ ٩٠ ١٨٠ ٣٦٥
عمر المكعبات بالأيام
١

$$\text{م} = \text{ك}\left(\frac{\text{س}}{\text{ا} - \text{ط}}\right)^{٢} \frac{\text{ا} \cdot \text{ن}^{٢/٣}}{\text{ب} + \text{ن}^{٢/٣}}$$

م = متانة الخرصان بالكيلو جرام على السنتيمتر المربع

ك = معامل نوع الأسمنت

س = حجم الأسمنت فى المتر المكعب

ط = حجم مخلوط الرمل والزلط فى المتر المكعب

ن = عمر الخرصان بالأيام

ا ، ب = عددين ثابتين قيمتهما حوالى ٥ ر ٦١ ؛

ومن هذا القانون يتضح أن قوة الخرصان تنقص بسرعة إذا زادت قيمة (ا — ط) وهى تشمل الماء والفراغ ويتوقف الأخير على نسب وأحجام الرمل والزلط

ويمكن الوصول إلى جهد كبير يساوى ٨٠٠ كج / سم٢ باختيار نسب ملائمة من الرمل والزلط وباستعمال ٤٥٠ كج من الأسمنت القوى للمتر المكعب وكبس المزيج جيداً مع الاستعانة على تقليل الفراغ بهزات ميكانيكية

ويعمل حساب التسليح الطولى فى متانة الخرصان بتعويضه بمساحة من الخرصان تساوى ١٥ مرة مساحة الصلب وحساب التطويق باضافة ٤٥ مرة من حجم الأطواق كما يتضح من القانون التالى المبنى على تجارب أجريت فى « ڤينا » واتخذناه أساسا لحساب جهد الامن للخرصانة المطوقة فى مواصفات السكة الحديد الأخيرة :

$$\text{م} \cdot \left(١ + ١٥ \text{ ص} + \frac{٤٥ \text{ ح}}{\text{س}} \right)$$

م = متانة الخرصان الغير مطوق

ص = مساحة التسليح الطولى

ح = حجم الطوق

س = المسافة بين الأطواق

تتركب الانشاءات من أعضاء مرتبطة ببعضها تنحصر أنواعها فى العامود والكمرة والعقد والبلاطة والقبة ويمكن حساب أكبر حجم ممكن لهذه الأنواع بسهولة بعد ادخال التصميمات الآتية :

الـكثافة الاستاتيكية « ث » : وهى عبارة عن كتلة منشور طوله متر ومساحة قاعدته كافية لتحمل طن واحد.

وقيمتها : — في الخرصان غير المسلح «ث» = ٢ر٧ كج.
بفرض وزنه النوعى ٢ر٢ وجهد الامن
٨٠ كج / سم^{٢}

وفى الخرصان المطوق «ث» = ١ر٤ كج
بفرض وزنه النوعى ٢ر٥ وجهد الامن
١٨٠ كج / سم^{٢}

وفى الصلب «ث» ٠ر٧٨ كج
بفرض وزنه النوعى ٧ر٨ وجهد الامن
١٠٠٠ كج / سم^{٢}

ويمكن تحسين الخرصان وزيادة التسليح والأطواق فتقل كثافته الاستاتيكية إلى ما يوازى قيمتها فى الصلب أو أقل

الطاقة « ط » : وهى عبارة عن الجهد الذى يتحمله الانشاء زيادة على الجهد الناشىء من ثقله وتختلف حسب

مادة الانشاء وشكله فهى فى الكمرات أقل منها فى العقود للاستفادة من المقاومة الافقية للاساس فى تقليل عزم الانحناء

وقد حسب «لوسيير» النهايات العظمى لفتحات العقود والكمرات بفرض ان ارتفاعها خمس فتحتها بالطريقة الآتية:

اذا ضاعفنا مقاسات انشاء مع حفظ نسبة الحمل المفيد إلى الثقل فان الجهود تتضاعف بنفس النسبة فمن ذلك يتضح ان الجهد الناشىء من ثقل الانشاء يتناسب مع طوله ل وبذلك تكون الطاقة « ط » :

ط = م — ك . ل

م = متانة المادة جهد الامن بالطن / م^{2}

ك = معامل يتغير حسب شكل ومادة الانشاء

وفى الكمرات الخرصانية : ط = ١٨٠٠ — ٢ر٤ ل

ففى الكمرات الصلب : ط = ١٠٠٠٠ — ١ر١٤ل

وفى العقود الخرصانية : ط = ١٨٠٠ — ٩ر١ ل

وفى العقود الصلب : ط = ١٠٠٠٠ — ٦ر٣ ل

ويمكن حساب نهاية الفتحة بفرض طاقة الانشاء صفرا أى انه لا يتحمل الا ثقله والتعويض فى المعادلات السابقة فتكون النتيجة .

اكبر فتحة ممكنه لكمرة من الخرصان ٤٣٠ مترا

« « « « من الصلب ٧١٠ «

« « « لعقد من الخرصان ٩٥٠ «

« « « « « « الصلب ١٦٠٠ «

بجانب البحث الفنى عن النهاية العظمى للفتحات يحسن ايراد بحث اقتصادى عن اكبر فتحة اقتصادية من مادة معينة وتتوقف قيمتها على أثمان المواد المختلفة فى مكان الانشاء فاذا اتخذنا متوسط الأثمان فى مصر أساساً وفرضنا ان ثمن المتر المكعب من الخرصان المطوق ٩ جنيهات مصرية

وثمن الطن من الصلب المشغول ٢٥ جنيها مصريا

يكون ثمن المنشور الذى اتخذناه وحدة للكثافة الاستاتيكية « ن » .

ن = ٥ مليمات للخرصان

ن = ٢٠ مليما للصلب

ومن هذين الرقين يتضح ان ثمن عامود من الخرصان يعادل ربع ثمن عامود من الصلب لنفس الطول والحمل

ويمكن مقارنة القيم الاقتصادية « ص » للكمرات والعقود من المادتين بحساب ثمن المتر الطولى بالجنيهات لانشاء مساحة عضو الضغط الأساسى فيه متر مربع واحد وقسمته على الطاقة « ط » فتكون النتيجة : —

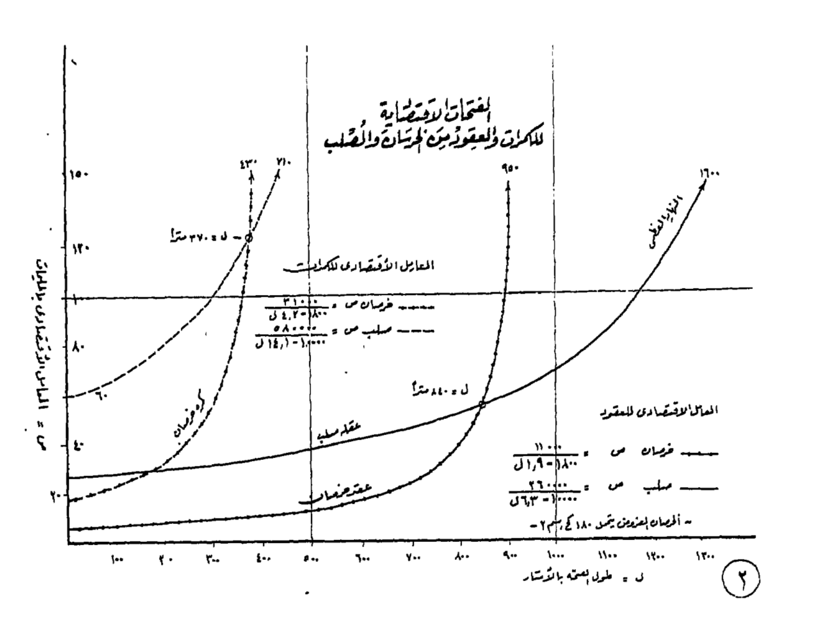
كمرة خرصانة : ص = ٣١ / (١٨٠٠ — ٤ر٢ ل)

كمرة صلب : ص = ٥٨٥ / (١٠٠٠٠ — ١٤ر١ ل)

عقد خرصان : ص = ١١ / (١٨٠٠ — ٩ر١ ل)

عقد صلب : ص = ٢٦٠ / (١٠٠٠٠ — ٦ر٣ ل)

والمنحنيات شكل — ٢ — تبين العلاقة بين الطول والقيمة الاقتصادية ومنها يتضح ان الكمرات الخرصانية أوفر من الصلب لغاية طول ٣٧٠ مترا وان العقود الخرصانية أوفر من الصلب لغاية ٥٠ مترا



الفتحات الاقتصادية
للكمرات والعقود من الخرسانة والصلب
المعامل الاقتصادي للكمرات
خرسانة ص = ٣١٠٠٠ / (١٨٠٠ - ٤,٢ ل)
صلب ص = ٥٨٠٠٠ / (١٠٠٠٠ - ١٤,١ ل)
المعامل الاقتصادي للعقود
خرسانة ص = ١١٠٠٠ / (١٨٠٠ - ١,٩ ل)
صلب ص = ٢٦٠٠٠ / (١٠٠٠٠ - ٦,٣ ل)
ل = ٣٧٠ مترا
ل = ٨٤٠ مترا
عقد صلب
عقد خرسانة
كمرة خرسانة
٤٣٠
٧١٠
٩٥٠
١٦٠٠
ص = المعامل الاقتصادي بالمليمات
ل = طول الفتحة بالأمتار
٢

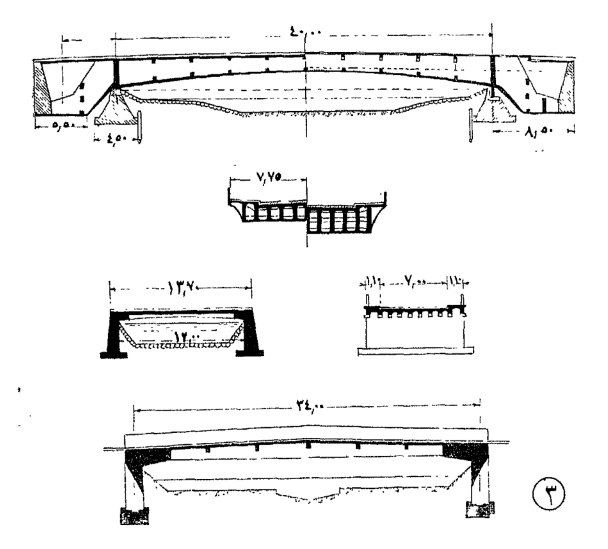
الكمرات الكبيرة

الكمرات المسمطة

الكمرة إنشاء تنتقل أحماله الى الأساس بقوى رأسية فقط وتبلغ قيمة عزم الانحناء فى وسط العتب المرتكز الطرفين ١/٤ الحمل المركز × الطول ٨/١ الحمل الموزع × الطول ويستعين المصمم على أنقاص هذه القيم فى الفتحات المتسعة بخلق عزم انحناء سالب عند نقطة الارتكاز وتبين الأشكال الآتية طرق مختلفة لتحقيق ذلك

ففى شكل (٣ ا) وضع حمل خلف الأكتاف وهذا يعطى عزماً سالباً مساوياً للحمل × الذراع ويمكن زيادته الى درجة كبيرة فينقص عزم الانحناء فى الوسط وبذلك يقل ارتفاع الكمرة ويمكن عملها بشكل مقوس .

وفى شكل (٣ ب) يولد ربط كمرات الكوبرى بالأكتاف عزماً سالباً ويعمل الانشاء جميعه كأنه إطار متصل وليس كمرة واستعملت هذه الطريقة فى كوبريين


٤٠,٠٠
٥,٥٠
٤,٥٠
٨,٥٠
٧,٧٥
١٣,٧٠
١٢,٠٠
١,١٠
٧,٠٠
١,١٠
٣٤,٠٠
٣

على ترعة الصفصافة بالمنيا سعة كل منها ١٢ متراً وقيمة عزم الانحناء فى الوسط نحو ثلث العزم اذا كانت الكمرات مستقلة ومرتكزة الطرفين .

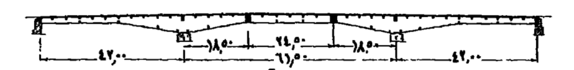
وفى شكل (٤ ب) يجرى انقاص عزم الانحناء فى الوسط بعمل الكمرة مستمرة ووصلها بالفتحتين الجانبيتين وقد أمكن بهذه الطريقة الوصول الى فتحة سعتها ٥ر٦١ متراً بارتفاع ٧٠ر٢ متر فى الوسط فى كوبرى «جروسميرنج» على نهر «الدانوب»

وقد استعملنا الكمرات المستمرة ذات المفصلات فى الممر العلوى بالزقازيق شكل (٤ حـ) وطوله ١٠١ متر على خمس فتحات .

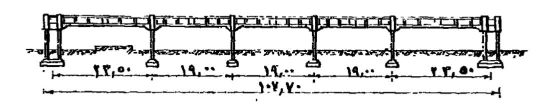
ووضع الأستاذ «مورش» تصميماً لكوبرى «بال» على الرين فيه كمرات مسمطة سعتها ١٠٦ متر ويصح اعتبار هذا الرقم قريباً من الحد الأعلى لفتحات هذا النوع من الكمرات .

<u>الكمرات الشبكية</u> : لعمل فتحات أكبر من ٥٠ متراً


١٤,٥٠
١٥,٠٠
١٤,٥٠
١٥,٠٠
٤٤,٠٠
١٥,٠٠


١٨,٥٠
٢٤,٥٠
١٨,٥٠
٤٢,٠٠
٦١,٥٠
٤٢,٠٠

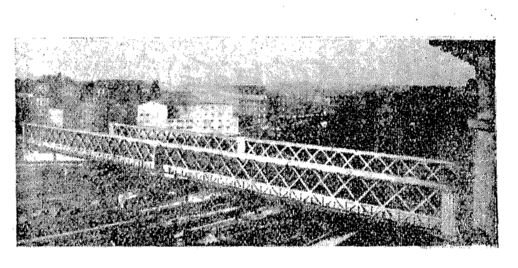

٤


٢٣,٥٠
١٩,٠٠
١٩,٠٠
١٩,٠٠
٢٣,٥٠
١٠٧,٧٠

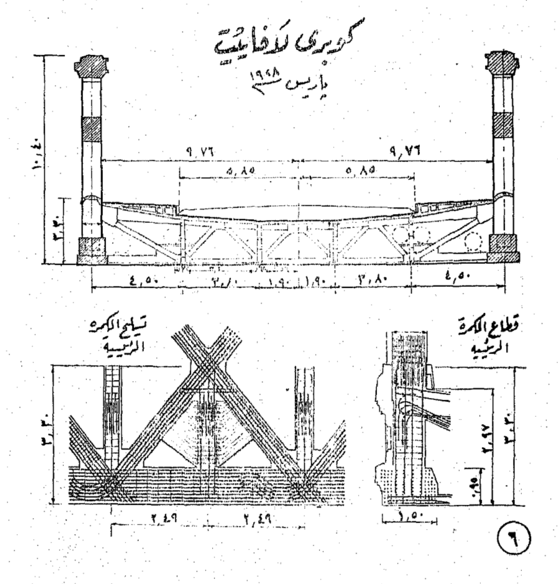
تصبح الكمرات المسمطة ثقيلة فيلجأ المهندس الى الكمرات الشبكية الخرصانية وهى تشابه فى شكلها وطريقة حسابها الكمرات الحديدية المعروفة .

ومن أكبر الكمرات الشبكية الخرصانية كوبرى «لافاييت» فى باريس ويحمل طريقاً عرضه ٢٠ متراً وله كمرتان رئيسيتان (شكل ٥) طول كل منهما ١٤٠ متر وهما مستمرتان على فتحتين سعة كل ٧٠ متراً ويبلغ ارتفاع الكمرة ١٠ أمتار (ارتفاع ثابت مراعاة للشكل) ويبين شكل ٦ طريقة ربط تسليح الأعضاء المشدودة فى الشفة السفلية للكوبرى ويساعد الشكل المنحنى لأطراف الأسياخ وتداخلها فى بعضها على توزيع قوى الشد الكبيرة فى مثل هذه الحال .

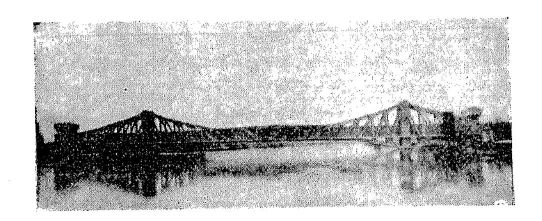
وفى (شكل ٧) كوبرى على نهر السين للمارة والمواسير والأسلاك وتبلغ سعة فتحته الوسطى ١٥٣ متراً (أطول فتحة فى العالم) وسعة الفتحتين الجانبيتين ٤٩ متراً و ٣٤ متراً وقد جعل شكل الكمرة مطابقاً لشكل عزم الانحناء — ويبلغ



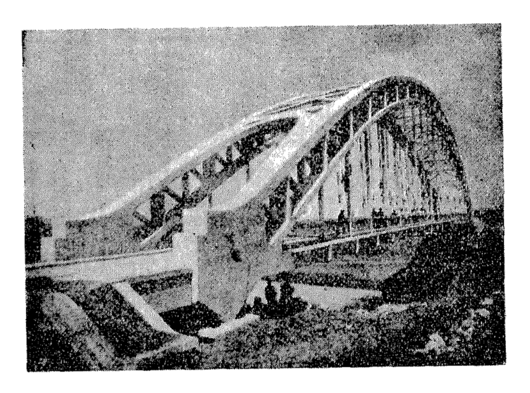
(شكل ٥)



كوبري لافاييت
باريس ١٩٢٨
٩,٧٦
٩,٧٦
٥,٨٥
٥,٨٥
١٠,٤٠
٣,٣٠
٤,٥٠
٣,١٠
١,٩٠
١,٩٠
٣,٨٠
٤,٥٠
تسليح الكمرة الرئيسية
قطاع الكمرة الرئيسية
٣,٣٠
٢,٤٩
٢,٤٩
٢,٩٧
٣,٣٠
٠,٩٥
١,٥٠
٦



(شکل ۷)



(شکل ۸)

ارتفاعها ٩ أمتار فى الوسط وأقصاه ٢٤ متراً عنـد البغلتين ويوجد نوع شائع من الـكبارى مكون من عقود وطبلية سفلية (ويصح تسميتها كمرات حسب التعريف لأن القوى التى تنتقل الى الأساس رأسية) ويستعمل للأحمال الخفيفـة القليلة التردد فى حالة قرب منسوب الطريق من سطح الماء وصعوبة التأسيس فى وسط المجرى .

ومن أكبر الانشاءات التى من هـذا النوع كوبرى فى تونس فتحته ٩٢ متراً (شكل ٨) ويمتاز بخفة العقد المفرغ بشكل شبكى

وقد استعملت مصلحة الطرق والـكبارى هذا الطراز فى كوبرى الشرقاوية .

العقود الـكبيرة

العقـد إنشاء تنتقل أحماله الى الأرض بقوى مائلة أى أنه يستفيـد من ضغط الأساس أفقياً عليـه لانقاص عزوم الانحناء والأصل فى العقود أن تكون خالية من العزوم الناشئة من ثقلها .

وتزداد الجهود فى العقود كلما قلت نسبة سهمها الى طولها وتقاس الشجاعة الفنية للعقد بالمعامل ل^{٢}/س أى مربع الطول على السهم ولم يتجاوز هذا المعامل ١٠٠٠ بعد إلا فى واحد من الانشاءات التى تمت لغاية الآن

وقيمته فى كوبرى « التيبر » فى روما :

ل^{٢}/س = ١٠٠^{٢}/١٠ = ١٠٠٠

وفى أكبر كبارى العالم بقرب برست (بلوجاستل)

ل^{٢}/س = ١٨٠^{٢}/٢٧ = ١٢٠٠

والعقود هى الانشاءات التى يمكن بها تغطية فتحات من الدرجة الأولى فى الطول لامكان الحصول على توزيع حسن للجهود فى أجزائها وتنافسها فى الانشاءات الصلب الكبارى المعلقة لسهولة تنفيذها بدون عبوات والاستغناء عن القطاعات الكبيرة المضغوطة وأكبرها لغاية الآن الكوبرى المعلق على نهر « الهدسن » وسعة فتحته ١٠٦٦ متراً

ولقطاعات العقود أشكال مختلفة فى الصغيرة يحسن

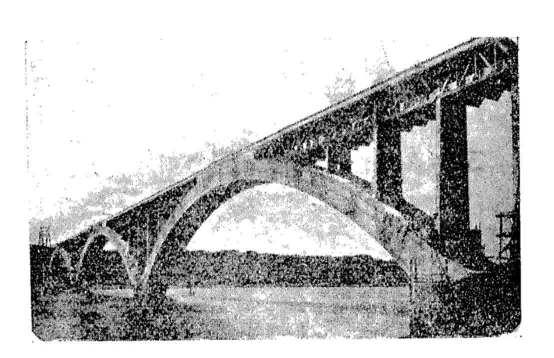
استعمال المستطيل المسمط للسهولة وفى الكبيرة المستطيل المفرغ بشكل صندوق ويمكن عمل العقود بشكل شبكى ولكنها أكثر تعقيداً من المفرغة ولا تمتاز عنها فى شىء

ويجدر بنا سرد بعض تفصيلات عن كوبرى « بلوجاستل » (شكل ٩) وهو من تصميم « فريسينيه » ويتكون من ثلاث فتحات متساوية سعة كل ١٨٠ م وسهمها ٣٦ متراً .

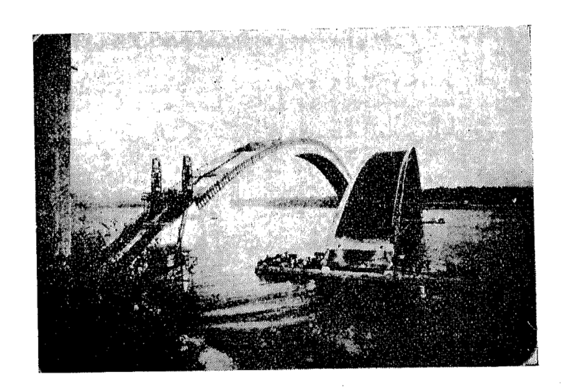
وقطاع العقد عبارة عن مستطيل مفرغ ارتفاعه فى المنطقة المتوسطة ٥ أمتار وعرضه ٩٫٥ أمتار وخصص الفراغ المتوسط لسير السكة الحديدية والسطح العلوى للطريق .

وقد جعلت الفتحات الثلاث متساوية لامكان استعمال عبوة واحدة للجميع إذ انشئت هذه على البر وعومت على صندلين إلى مكانها فى الفتحة الأولى (شكل ١٠) حيث ثبتت ثم نقلت إلى الفتحة التى تليها وهكذا .

وتبلغ أقصى قيمة لجهد الضغط فى هذا الكوبرى ٧٥ كج / سم^{2} فقط وقد شجع ذلك مصممه « فريسينيه »



(شكل ٩)



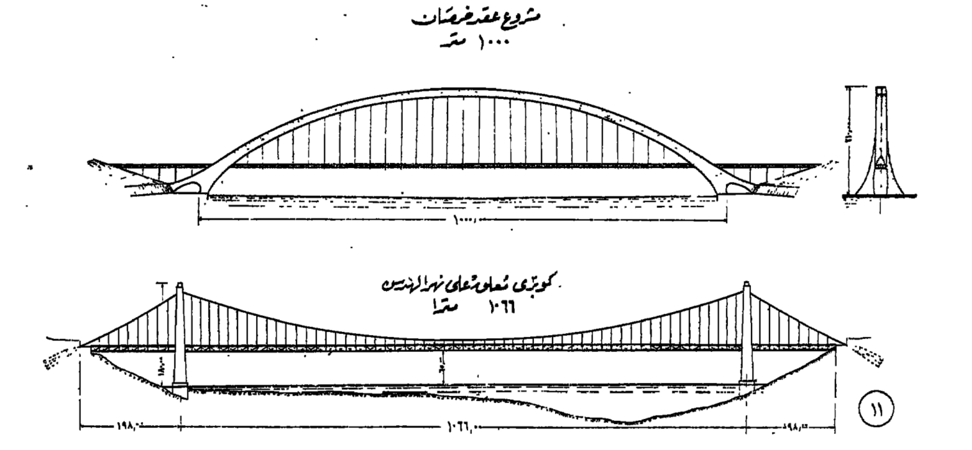
(شكل ١٠)

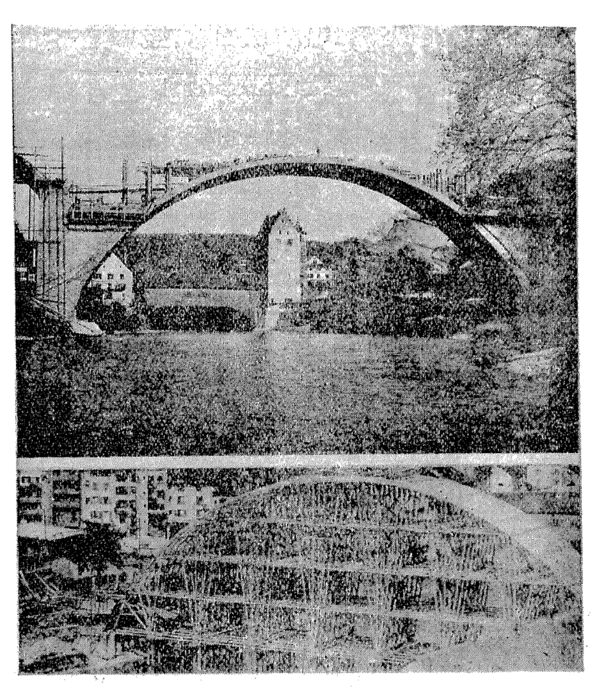
على وضع مشروع لعقد مفرغ من الخرصان فتحته ١٠٠٠ متر وسهمه ١٧٠ متراً شكل — ١١ — وهذا يوازى أكبر فتحة تحققت للكبارى المعلقة على كوبرى نهر «الهدسن» وطولها ١٠٦٦ متر

وقدرت أقصى قيمة لجهد الضغط فى هذا العقد ٢٨٠ كج/سم٢ بفرض ارتفاع قطاعه ١٦ متراً فى الوسط و ٤٠ متراً عند الكتفين تكاليفه بأقل من نصف تكاليف كوبرى « الهدسن » وهذا يزيد على تقديرنا فى المنحنيات (شكل ٢) لأنه فرض استعمال خرصان أقوى .

ولا يفوتنى قبل ترك موضوع العقود أن أشير إلى كثرة الصعوبات التى يلاقيها المهندس فى عمل العبوات الكبيرة (شكل ١٢) وتعادل تكاليفها فى بعض الأحوال تكاليف العقد نفسه مما أدى إلى استعمال شدات من الصلب تترك فى داخل العقد بصفة تسليح وتعرف هذه الطريقة باسم مبتكرها «ميلان»

ويتحايل المصمم على تخفيف تكاليف العبوات فى العقود


مشروع عقد خرصان
١٠٠٠ مترا
١٠٠٠,٠٠
كوبري معلق على نهر الهدسن
١٠٦٦ مترا
١٩٨,٠٠
١٠٦٦,٠٠
١٩٨,٠٠
١١

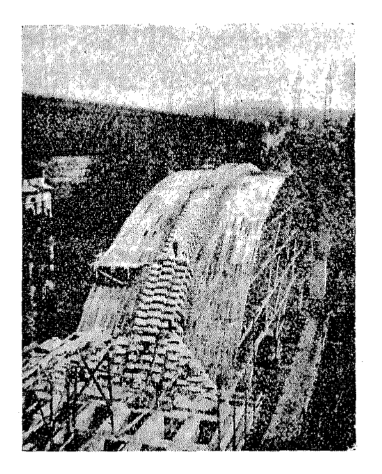


(شكل ١٢)

المبنية ببناء الحلقة السفلية على الشدة واستعمالها للمساعدة فى حمل بقية العقد وقد استعمل «مايار» فى كوبرى «اللورين» عند برن طريقة جديدة لتخفيف الحمل على الشدة ببناء الحلقة المتوسطة من العقد أولا ثم مد البناء فى العرض من الجهتين فتساعد الحلقة الوسطى فى حملة (شكل ١٣) ويخف الثقل على الشدة فتقل تكاليفها بدرجة كبيرة

القبـاب

القبـاب الدائرية معروفة من زمن طويل (ويشاهد فى صعيد مصر قباب طينية تكون أسقف المنازل) والقباب المبنية من الحجر المنحوت شائعة الاستعمال فى الجوامع والمبانى الأثرية وكانت أسماكها كبيرة حتى ظهور الخرصان المسلح الذى تبعه تخفيف القباب بدرجة كبيرة واستمر التقدم ببطىء فى تقليل أسماك القباب حتى سنة ١٩٢٢ إذ وضع الدكتور «باورس فيلد» طريقة القباب الخفيفة (وتسمى طريقة زيس) وتتلخص فى شد شبكة من الصلب محكمة المقاسات ذات عيون مثلثة بواسطة سقاله متحركة وفرش الأسياخ الرفيعة



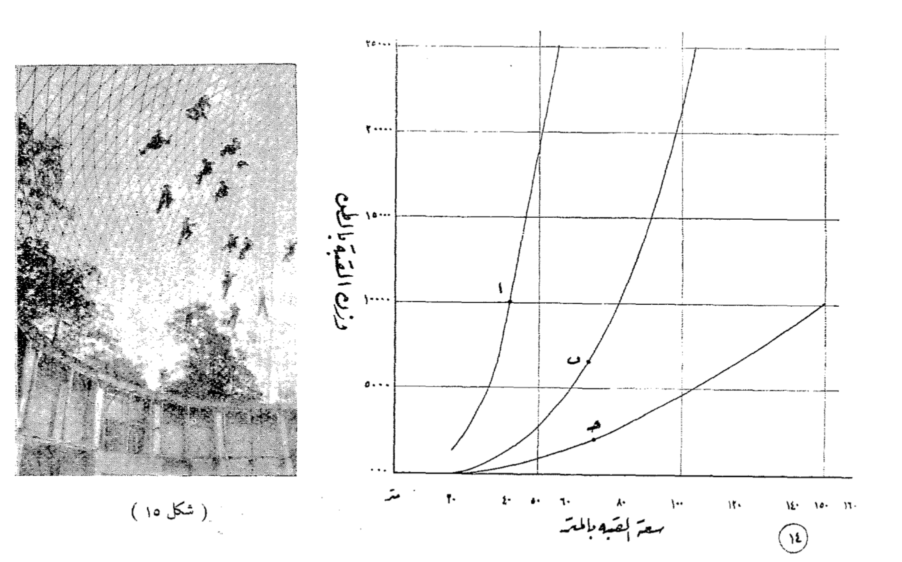
(شكل ١٣)

عليها ثم صب الخرصان من الخارج على بطانة معلقة فى الشبكة من الداخل (شكل ١٥) وقد أمكن بهذه الطريقة انشاء قباب متسعة لا يتجاوز سمكها بضعة سنتيمترات .

ويبين (شكل ١٤) التقدم الذى طرأ على أوزان القباب بظهور الأسمنت المسلح واستعمال طريقة القباب الخفيفة فاذا حسبنا ثقل قبة من الحجر لفتحة قدرها ٤٠ متراً نجده يبلغ ١٠٠٠٠ طن حسب المنحنى — أ — ينقص الى ١٥٠٠ طن من الخرصانة المسلحة حسب المنحنى — ب — ولا يتجاوز وزن قبة بهذه السعة ٣٥٠ طن حسب المنحنى — ج — .

ويبين شكل — ١٦ — احدى القباب الكبيرة التى عملت فى ألمانيا بطريقة « زيس » ويبلغ قطرها ٤٠ متراً وسهمها أقل من ٨ أمتار وسمكها ٦ سنتيمترات .

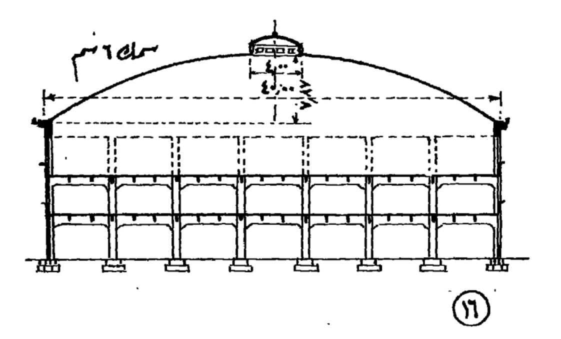
وقد وضع «دشنجر» مشروعاً لقبة كروية سعتها ١٥٠ متر وارتفاعها ٣٤ متراً مكونة من قشرتين ووزنها ٤٠٠ كج للمتر المربع يساعدها سقف المبانى التى حولها على تحمل



(شكل ١٥)

قبة كروية

فى فينا - نفذت بطريقة زايس



(١٦)

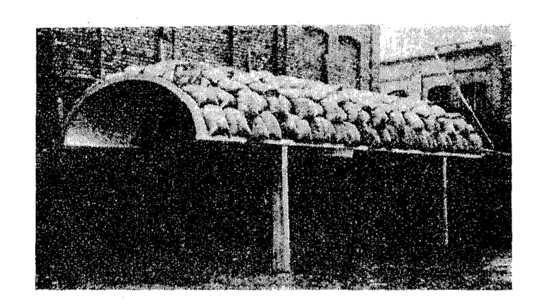
الشد فى الحلقة السفلية ولا يتجاوز الضغط فيها ٢٠ كج / سم٢ (شكل ١٧)

توجد غير القباب الكروية قباب مضلعة تتكون من جملة سطوح اسطوانية متصلة بضلوع عند أركان التقاطع وقد عرف هذا النوع بعد تجربة «بيبرخ» التى أخرجتها شركة « ديكرهوف » فى سنة ١٩٢٥ (شكل ١٨) وهى عبارة عن تحميل سطح اسطوانى مربوط الطرفين مرتكز على أربع أعمدة بشكل كمرة وتبلغ فتحة القوس ٤ أمتار وطوله ٦ أمتار وقد عملت القشرة الأسطوانية من الخرصان بتخانة ٥ر١ سم سلحت بأسلاك قطر ٣ م كل ٨ سنتيمترات وقد تحملت هذه القشرة الأسطوانية ٥٠٠ كج /م٢

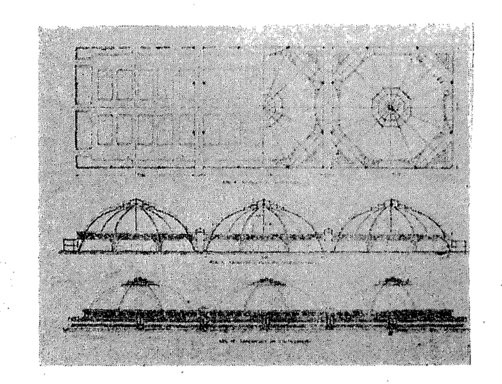
يمكن قطع السطح الاسطوانى بمستويين مائلين على محوره فنحصل على جزء من قبة مضلعة تستعمل فى حساباتها نفس الطريقة التى تستعمل لحساب القشرة الاسطوانية وتعد هذه الفكرة من أكبر الخطوات التى قطعها الفن فى سبيل تقدم القباب الخفيفة

مشروع قبة كروية

قطر ١٥٠ مترا



(شکل ۱۸)



(شکل ۱۹)

والقباب المضلعة التى تعمل بالشكل المذكور مسجلة باسم شركة « ديكرهوف » التى تمكنت من عمل قباب كبيرة فى انحاء مختلفة من أوروبا وتبلغ سعة أكبرها ٧٥ مترا وقد انشئت ثلاث قباب بهذا الحجم فى « ليبزج » سنة ١٩٢٨ لتغطية مساحات حوالى ٦٠٠٠ متر مربع بدون أعمدة (شكل ١٩)

ويمكننى ذكر بعض تفاصيل عملية عن قبة أخرى من هذا النوع اشتركت فى تنفيذها فى صيف سنة ١٩٢٩ فى « بال »

شكل القبة مثمن وسعتها ٦٠ متراً وارتفاعها ٢٧ متراً وسمكها ٨ سم عملت العبوة على قوائم بارتفاع أقصاه ٣٣ متراً فوق سطح الأرض (شكل ٢٠) فى نفس الوقت الذى اقيمت فيه الأعمدة والكمرات المحيطة ووضعت رافعة فى محور القبة لرفع الخرصان السائل إلى قمتها ومنها ينحدر فى قنوات مفتوحة إلى نقط الصب فتقلب وتوضع بين القشرة الداخلية وطبالى خارجية بارتفاع ١٫٢٠ متر كررنا هذه العملية (شكل ٢١) لصب عدة حلقات أفقية حول المحيط تمكنا بعدها من الصب بدون

(شكل ٢٠)

(شكل ٢١)

الطبالى الخارجية لنقص ميل الجزء العلوى من القبة وقد ازدادت سرعة الصب بهذه الطريقة بحيث أمكن عمل التسليح وصب جميع القبة فى ستة أسابيع رغم أرتفاع الانشاء وكثرة أيام المطر التى كنا نوقف الصب المكشوف أثناءها بعد أربعة اسابيع دليت الشدة بنشر الأطراف السفلية للقوائم بالتدريج بحيث يضعف قطاعها وتتداخل الياف الخشب فتحمل القبة نفسها بالتدريج واستمرت هذه العملية نحو ثلاث ساعات .

حاولنا قياس هبوط القبة فى نقط مختلفة اثناء رفع الشدة فظهر أنها ارتفعت وعللنا ذلك بتمدد القبة لطلوع الشمس وازدياد درجة حرارتها اثناء الثلاث ساعات المذكورة لأننا لاحظنا أن إرتفاعها كان بشكل غير متماثل إذ تحدبت إلى جهة واحدة وهى جهة حرارة الشمس .

ولا يزال الدكتور « دشنجر » يبتكر أشكالاً جديدة للسطوح الفراغية وقد نجحت أخيراً تجربته التى أجراها فى العام الماضى على سطح مزدوج الانحناء ومربع القاعدة إذ

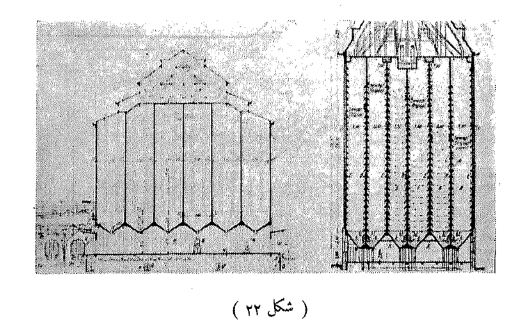
تحملت القبة وسعتها ٧٫٣٠ × ٧٫٣٠ أمتار وسمكها ١٫٥ سم في الوسط ، ٢٫٥ سم عند الأطراف حملا قدره ٣٠٠ كج / م٢ وينتظر أن يكون لهذه التجربة شأن في تقدم القباب الخفيفة في المستقبل القريب

الصوامع

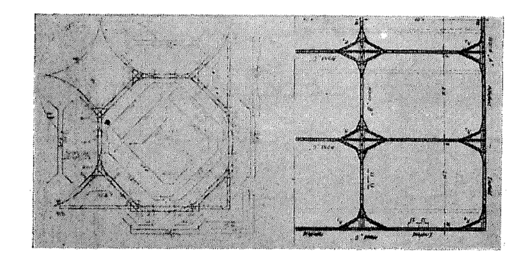
الصومعة وعاء لحفظ كميات كبيرة من المواد اليابسة كالغلال لخزنها وتوزيعها بسهولة . وما زالت تصنع أوعية كبيرة من الطين لهذا الغرض في مصر

وقد تغلب الخرصان المسلح على جميع المواد الأخرى مثل الخشب والطوب والصلب لأسباب كثيرة أهمها مقاومة الحريق وعدم الاحتياج إلى الصيانة وصغر المكان الذي تستلزمه وهو أكثر وقاية للغلال من الرطوبة والحشرات

ويبين شكل (٢٢) قطاعين في صومعتين حديثتين وتمتاز الصومعة التي على يمين الشكل بطريقة التهوية المستمرة التي تساعد على عدم التعفن وتتلخص هذه الطريقة في ضغط



(شکل ۲۲)



(شکل ۲۳)

هواء فى عيون التهوية الرأسية يتخلل الغلال بطريق القنوات الأفقية فى حائط الصومعة ويخرج من القنوات فى الحائط المقابل

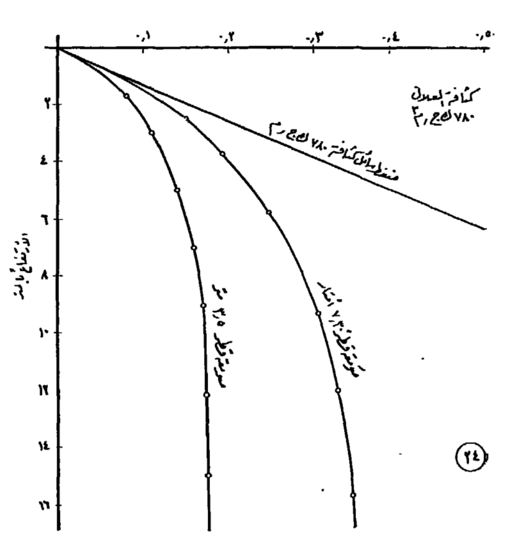
وتعمل عيون الصوامع دائرية لحسن توزيع القوى إذ أنها تكون خالية من العزوم ولا تتعرض إلا لقوى الشد

أو مضلعة لاستثمار المكان بنسبة أكبر شكل — ٢٣ — وقد أمكن تطبيق نظريات ضغط التراب على الضغوط فى الصوامع بعد الاستعانة بتجارب كثيرة ويبين شكل — ٢٤ — العلاقة بين ارتفاع الصومعة وضغط الغلال على جوانبها والمنحنى مأخوذ من تجارب لصومعتين قطرهما ٧ أمتار و ٥ر٣ أمتار وكانت كثافة الغلال ٧٨٠ كج / م٢ زاوية ميلها الطبيعى ٢٠° . ويرى من المنحنى ان الضغط الجانبي يزداد مع العمق بسرعة أولا ثم ببطيء ويكون ثابتاً تقريباً فى الأعماق الكبيرة أى إذا وصل العمق ٥ أضعاف القطر.

ويعزى الفرق بين منحنى الضغط فى الصومعتين الواسعة

الضغط على حوائط الصوامع

الضغط كج / سم٢



والضيقة إلى زيادة تأثير الاحتكاك بالحوائط الجانبية فى الأخيرة

وتبلغ نسبة الضغط على القاعدة الى الضغط الجانبى نحو ٢ر٥ للاعماق القليلة ، ١ر٥ للاعماق الكبيرة

ومن السهل تطبيق نظريات الانشاءآت على حساب الصوامع بعد إيجاد مقدار الضغط على جوانبها وقاعدتها .

م ٠ مصر ٢٢٩١ ؛١٠٠٠/١٩٣٣

